

MATERIALES DE CARBONO NANOESTRUCTURADO, PASADO PRESENTE Y FUTURO

M^o Teresa Martínez
Instituto de Carboquímica (CSIC)
Miguel Luesma,4, 5018 Zaragoza

Los materiales de carbono han sido objeto de un enorme interés desde la antigüedad, El uso del grafito se remonta a hace 6000 años cuando se usaba en Europa para decorar cerámicas y los primeros datos de utilización de carbones activos datan de 1550 antes de Cristo. Más recientemente, en el siglo XIX, se publica el crecimiento de filamentos de carbono y posteriormente en 1950 se obtuvieron fibras de carbono huecas. Desde entonces, la demanda por parte de la industria aeroespacial de materiales más fuertes y ligeros con mejores propiedades mecánicas ha llevado a una mejora sustancial en la producción y caracterización de filamentos de carbono y fibras de carbono huecas. El descubrimiento en las últimas décadas de carbones nanoestructurados cero dimensionales, (fullerenos), unidimensionales, (nanotubos, CNTs) y bidimensionales (grafeno) ha producido una revolución sin precedentes en la ciencia de los materiales de carbono. Los fullerenos fueron descubiertos en 1985 por Harold Kroto, Richard Smalley y Robert Curt, los CNTs fueron identificados por primera vez por Iijima en 1991 y láminas de una sola capa de grafeno se prepararon por primera vez en 2004 por Andre Geim y Kostya Novoselov.

La excepcionales propiedades que comparten nanotubos y grafeno, tienen su origen en su común estructura; una lámina monoatómica de átomos de carbono dispuestos en una estructura hexagonal. El enlace extraordinariamente fuerte C-C produce una relación fuerza/peso excepcionalmente alta. Por ejemplo la fuerza del grafeno es tal que según el comité del premio Nobel concedido a Geim, una hipotética lámina perfecta de grafeno de 1 m², tendría un peso de 0,77 mg y podría soportar un peso de 4 Kg. La simetría con la que los átomos de carbono se organizan en la red hexagonal permite a ambas formas de carbono nanoestructurado conducir la electricidad mucho más fácilmente que el silicio usado en chips de computación. La ausencia de dispersión de los electrones durante la conducción, conocida como transporte balístico, permite a los CNTs conducir sin disipar energía en forma de calor. Esto significa que tienen mucha menos resistencia y generan mucho menos calor, una propiedad especialmente interesante considerando el constante aumento de la densidad de los circuitos electrónicos. La utilización de estos materiales en electrónica resolvería dos de los principales problemas que plantea la miniaturización; capacidad para transportar altas densidades de corriente y disipación de calor.

En cuanto a sus aplicaciones, quizás las mas estudiadas han sido en el campo de materiales compuestos, electrónica y más recientemente en el área de biotecnología. Actualmente cientos de toneladas de nanocarbones comerciales se destinan principalmente a la fabricación de materiales compuestos para la fabricación de materiales deportivos ligeros, baterías de litio y piezas para automóviles. En electrónica, aunque se han realizado importantes avances, su utilización comercial requeriría el posicionamiento de miles de CNTs con una precisión casi atómica. Esta dificultad, unida a su diversidad en cuanto a diámetros, longitudes y características eléctricas hace pensar que a pesar de las claras ventajas respecto a los MOSFET, su comercialización no será inmediata. A pesar de las dificultades, tanto CNTs como grafeno están considerados en “The international Technology Roadmap for Semiconductors” como

candidatos efectivos para la electrónica “post-Si”. Se prevé sin embargo una introducción más rápida en otro tipo de electrónica menos exigente como la aplicación en láminas finas de electrodos transparentes, sustitutos del ITO (óxido de indio y estaño), pantallas táctiles y células solares. Una alternativa para los carbonos nanoestructurados es el todavía emergente mercado de la electrónica plástica tal como sensores que pueden ser llevados en la ropa, adheridos a las paredes o impresos en láminas. Los circuitos electrónicos de CNTs y grafeno pueden ser transferidos a sustratos flexibles y pueden competir efectivamente con los polímeros conductores cuyo rendimiento es bajo.

En los últimos años, la reciente expansión de métodos químicos de modificación y funcionalización de CNTs ha dado lugar a CNTs bioactivos que se combinan con proteínas, carbohidratos y oligonucleótidos mostrando un gran potencial en el campo de la nanomedicina y nanobiotecnología.. Se han estudiado con éxito aplicaciones en el campo de los biosensores, suministro de fármacos, terapias génicas sustratos para el crecimiento de neuronas y elementos estructurales para prótesis inteligentes. En este campo existe también una controversia respecto a su toxicidad por lo que las aplicaciones “in vivo” tendrán que esperar su aprobación por las autoridades sanitarias.

Existen sin embargo una serie de retos para el desarrollo del enorme potencial de estos materiales. En el caso de los CNTs los principales problemas que han frenado su desarrollo es el control de la producción y el procesado. El control de la producción es uno de los mayores retos ya que se produce conjuntamente una mezcla de CNTs con comportamiento semiconductor o metálico y con distintos diámetros y quiralidades. Esto implica grandes dificultades para su aplicación por ejemplo en electrónica ya que es necesario separar los CNTs con comportamiento semiconductor o bien silenciar los de comportamiento metálico mediante funcionalización covalente. En el caso del grafeno, su intervalo de banda es cero y es necesario crear un intervalo de banda para que pueda ser utilizado como transistor.

En cuanto al procesado, los CNTs se auto organizan en haces debido a fuertes interacciones de van der Waals que los mantienen unidos y que los hace insolubles en todos los disolventes y difíciles de dispersar. A este respecto, la funcionalización de los CNTs mejora su solubilidad y permite preparar nuevos materiales con potencial para numerosas aplicaciones. La funcionalización abre enormes posibilidades tanto para su integración en materiales poliméricos, para la unión con biomoléculas y para la obtención de materiales híbridos. La funcionalización química permite la preparación de materiales fotoactivos y electroactivos mediante el enlace con porfirinas, fluoreno y cromóforos basados en bitiofeno capaces de modular la fuerza y la vida de los pares electrón-hueco fotogenerados.

El tiempo estimado para que cualquier nuevo material alcance impacto industrial es al menos de 20 años. La investigación en fibras de carbono iniciada en 1950 costó aproximadamente 15 años hasta que empezó a aplicarse en usos militares y aeroespaciales pero no fue hasta los años 70 cuando se empezaron a ver aviones comerciales con algunos componentes basados en fibras de carbono. Los CNTs y grafeno pueden estar en esa trayectoria. Sin embargo, tras 25 años explorando las propiedades de fullerenos nanotubos y grafeno podemos afirmar que su comercialización no está siendo ni rápida ni fácil.